

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

**GALLIUM NITRIDE COMPOUND SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING ELEMENT AND MANUFACTURE THEREOF**

Patent Number: JP4163971  
Publication date: 1992-06-09  
Inventor(s): KOTAKI MASAHIRO; others: 02  
Applicant(s): TOYODA GOSEI CO LTD; others: 02  
Requested Patent: ☐ JP4163971  
Application Number: JP19900290059 19901027  
Priority Number(s):  
IPC Classification: H01L33/00  
EC Classification:  
Equivalents:

---

**Abstract**

---

**PURPOSE:** To lower an operating voltage and to improve emitted blue light intensity by realizing a light emitting element having novel p-n junction of gallium nitride compound semiconductor and an electrode leading structure.

**CONSTITUTION:** A light emitting diode 10 has a sapphire board 1, and a buffer layer 2, a high carrier concentration n<+> type layer 3, a low carrier concentration n-type layer 4 and an i-type layer 50 are sequentially formed thereon. A p-type layer 5 is formed on a predetermined region of the layer 50. A hole 15 is formed from the upper surface of the layer 5 to the layer 3 through the layers 50, 4, and an electrode 52 connected to the layer 3 through the hole 15 is formed on the layer 50. An electrode 51 to the layer 5 is formed on the layer 5. The electrode 52 to the layer 3 is subjected to dielectric isolation by means of the layer 50. Accordingly, the layer 5 is formed with a p-n junction longitudinally, and is subjected to dielectric insulator-isolated laterally by the layer 50. With the configuration, a driving voltage can be lowered, and emitted blue light intensity can be improved.

---

Data supplied from the esp@cenet database - 12

## ⑫ 公開特許公報(A) 平4-163971

⑬ Int.Cl.<sup>8</sup>

H 01 L 33/00

識別記号

庁内整理番号

C

8934-4M

⑭ 公開 平成4年(1992)6月9日

審査請求 未請求 請求項の数 2 (全6頁)

⑮ 発明の名称 窒化ガリウム系化合物半導体発光素子及びその製造方法

⑯ 特 願 平2-290059

⑰ 出 願 平2(1990)10月27日

⑱ 発 明 者 小 滝 正 宏 愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1番地 豊田合成株式会社内  
⑲ 発 明 者 赤 崎 勇 愛知県名古屋市千種区不老町(番地なし) 名古屋大学内  
⑲ 発 明 者 天 野 浩 愛知県名古屋市千種区不老町(番地なし) 名古屋大学内  
⑳ 出 願 人 豊田合成株式会社 愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1番地  
㉑ 出 願 人 名古屋大学長 愛知県名古屋市千種区不老町(番地なし)  
㉒ 出 願 人 新技術事業団 東京都千代田区永田町2丁目5番2号  
㉓ 代 理 人 弁理士 藤谷 修

## 明 細 書

## 1. 発明の名称

窒化ガリウム系化合物半導体発光素子及びその製造方法

## 2. 特許請求の範囲

(1) n型窒化ガリウム系化合物半導体( $Al_xGa_{1-x}N$ ;  $x=0$ を含む)から成るn層と、

前記n層に接合し、p型不純物がドーピングされた半導体性窒化ガリウム系化合物半導体( $Al_xGa_{1-x}N$ ;  $x=0$ を含む)から成るi層と、

前記i層の上面から前記n層に至るまで前記i層に形成された孔を通り前記n層と接合し、前記i層の上面に形成された、前記n層のための第1の電極と、

前記第1の電極を前記i層で絶縁分離するように前記i層の所定領域に電子線が照射されることによりp型に変換されたp型部と、

前記p型部の上面に形成された前記p型部のための第2の電極と

を有する窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

(2) n型窒化ガリウム系化合物半導体( $Al_xGa_{1-x}N$ ;  $x=0$ を含む)から成るn層上に、p型不純物のドーピングされた半導体性の窒化ガリウム系化合物半導体( $Al_xGa_{1-x}N$ ;  $x=0$ を含む)から成るi層を形成し、

前記i層の上面から前記n層に至るまで、前記n層に対する電極を形成するための孔を前記i層に形成し、

前記孔を前記i層で分離するように、前記i層の所定領域に電子線を照射することによりp型半導体に変換されたp型部と、

前記孔の周囲の前記p型部上において前記孔を通り前記n層と接合する前記n層のための電極と、前記p型部の上面において前記p型部のための電極とを形成する

ことから成る窒化ガリウム系化合物半導体( $Al_xGa_{1-x}N$ ;  $x=0$ を含む)発光素子の製造方法。

## 3. 発明の詳細な説明

【産業上の利用分野】

本発明は青色発光の窒化ガリウム系化合物半導

体発光素子及びその製造方法に関する。

【従来技術】

従来、青色の発光ダイオードとしてGaIn系化合物半導体を用いたものが知られている。そのGaIn系化合物半導体は直接遷移であることから発光効率が高いこと、光の3原色の1つである青色を発光色とすること等から注目されている。

このようなGaIn系化合物半導体を用いた発光ダイオードは、サファイア基板上に直接又は窒化アルミニウムから成るバッファ層を介在させて、n型のGaIn系化合物半導体から成るn層を成長させ、そのn層の上にp型不純物を添加して半絶縁性のi型のGaIn系化合物半導体から成るi層を成長させた構造をとっている（特開昭62-119196号公報、特開昭63-188977号公報）。

【発明が解決しようとする課題】

しかし、上記構造の発光ダイオードの発光強度は未だ十分ではなく、改良が望まれている。

又、窒化ガリウム系化合物半導体は、p型の不純物をドーピングしても、p型にならず、半絶縁

性（i型）であった。

本発明者らは、研究を重ねた結果、窒化ガリウム系化合物半導体において、p導電型の半導体を得ることに成功した。

この結果、発光効率の高いpn接合を実現することが可能となった。

しかしながら、同一面側から、p層及びn層の電極を取り出す構造とする場合には、p層が導電性の高い半導体であるため、n層の電極をp層に対して電氣的に絶縁することが必要となった。

本発明は、この問題を解決するものであり、窒化ガリウム系化合物半導体の新規なpn接合と電極の取り出し構造を有した発光素子を実現することにより、動作電圧の低下及び青色の発光強度を向上させることを目的としている。

【課題を解決するための手段】

本発明は、窒化ガリウム系化合物半導体（ $Al_xGa_{1-x}N$ ； $0 \leq x \leq 1$ ）で、n層の上にp層を形成し、i層の一部をp型化し、部分的にpn接合を形成することと、上層のi層から両層の電極を取り出

す構造を要旨としている。

まず、n型の窒化ガリウム系化合物半導体から成るn層が形成される。そのn層上にp型の不純物のドーピングされた窒化ガリウム系化合物半導体から成るi層を形成する。窒化ガリウム系化合物半導体の場合には、p型の不純物をドーピングしても、p型にはならず、絶縁体となる。

n層に対する電極は、i層にn層に至る孔を形成し、この孔を通してi層表面に形成される。

i層には、そのn層に対する電極をi層で絶縁分離するように、i層の所定領域にp型部が形成される。そのp型部はi層の所定領域に電子線を照射することで形成される。即ち、i型（絶縁性）の窒化ガリウム系化合物半導体は電子線を照射することにより抵抗率が減少し、p型の半導体に変換される。このようにして変換されたp層と下層のn層とでpn接合が形成される。

そして、このp型部上にp型部に対する電極が形成される。

このように、下層のn層に対する電極とp型部

とは、i層によって絶縁分離される。

尚、i層のドーピング元素は、例えば、マグネシウム(Mg)である。電子線の照射条件としては、一例であるが、加速電圧1KV~50KV、試料電流0.1 $\mu$ A~1mAである。

【作用及び発明の効果】

上記のように、pn接合が実現できたので、動作電圧を低下させることができた。

又、上記のように、下層のn層に対する電極とp層とをi層により絶縁分離できるので、上層のp層とi層に両電極の形成されたパンパ接合（フュースダウン）の発光素子が実現できた。

【実施例】

以下、本発明を具体的な実施例に基づいて説明する。

第1図において、発光ダイオード10は、サファイア基板1を有しており、そのサファイア基板1に500Åの $AlN$ のバッファ層2が形成されている。そのバッファ層2の上には、順に、膜厚約2.2 $\mu$ mのGaInから成る高キャリア濃度n<sup>+</sup>層3と真

厚約 1.5 $\mu$ m の GaIn から成る低キャリア濃度 n 層 4 が形成されており、更に、低キャリア濃度 n 層 4 の上に厚約 0.2 $\mu$ m の GaIn から成る i 層 5 0 が形成されている。又、その i 層 5 0 の所定領域には p 型を示す p 層 5 が形成されている。

i 層 5 0 の上面からは、i 層 5 0 と低キャリア濃度 n 層 4 とを貫通して高キャリア濃度 n<sup>+</sup> 層 3 に至る孔 1 5 が形成されている。その孔 1 5 を通って高キャリア濃度 n<sup>+</sup> 層 3 に接合されたアルミニウムで形成された電極 5 2 が i 層 5 0 上に形成されている。

又、p 層 5 の上面には、p 層 5 に対するアルミニウムで形成された電極 5 1 が形成されている。

高キャリア濃度 n<sup>+</sup> 層 3 に対する電極 5 2 は、p 層 5 に対して i 層 5 0 により絶縁分離されている。

次に、この構造の発光ダイオード 1 0 の製造方法について説明する。

製造工程を示す第 2 図から第 8 図は、ウェハにおける 1 素子のみに関する断面図であり、実際に

は図に示す素子が繰り返し形成されたウェハに關して次の製造処理が行われる。そして、最後に、ウェハが切断されて各発光素子が形成される。

上記発光ダイオード 1 0 は、有機金属化合物気相成長法(以下「MOVPE」と記す)による気相成長により製造された。

用いられたガスは、H<sub>2</sub> とキャリアガス B<sub>2</sub> とトリメチルガリウム (Ga(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>) (以下「TMG」と記す) とトリメチルアルミニウム (Al(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>) (以下「TMA」と記す) とシリコン (SiH<sub>4</sub>) とシクロペンタジエニルマグネシウム Mg(C<sub>5</sub>H<sub>5</sub>)<sub>2</sub> (以下、「CP<sub>2</sub>Mg」と記す) である。

第 2 図に示す構成に、各層が積層される。その手順を説明する。

有機洗浄及び熱処理により洗浄した a 面を主面とする単結晶のサファイア基板 1 を MOVPE 装置の反応室に設置されたサセプトに装着する。

次に、常圧で B<sub>2</sub> を流速 2 $\ell$ /分 で反応室に流しながら温度 1100℃ でサファイア基板 1 を気相エッチングした。

である。

第 3 図に示すように、i 層 5 0 の上に、スパッタリングにより SiO<sub>2</sub> 層 1 1 を 2000 $\text{\AA}$  の厚さに形成した。次に、その SiO<sub>2</sub> 層 1 1 上にフォトレジスト 1 2 を塗布した。そして、フォトリソグラフィにより、i 層 5 0 において n 層 4 に至るように形成される孔 1 5 に対応する電極形成部位 A のフォトレジストを除去した。

次に、第 4 図に示すように、フォトレジスト 1 2 によって覆われていない SiO<sub>2</sub> 層 1 1 をフッ化水素酸系エッチング液で除去した。

次に、第 5 図に示すように、フォトレジスト 1 2 及び SiO<sub>2</sub> 層 1 1 によって覆われていない部位の i 層 5 0 とその下の低キャリア濃度 n 層 4 と高キャリア濃度 n<sup>+</sup> 層 3 の上面一部を、真空度 0.04 Torr、高周波電力 0.44W/cm<sup>2</sup>、CCl<sub>4</sub>F<sub>4</sub> ガスを 10 $\ell$ /分の割合で供給しドライエッチングした後、Ar でドライエッチングした。この工程で、高キャリア濃度 n<sup>+</sup> 層 3 に対する電極取出しのための孔 1 5 が形成された。

次に、温度を 400℃ まで低下させて、H<sub>2</sub> を 20 $\ell$ /分、H<sub>2</sub> を 10 $\ell$ /分、TMG を 1.8 $\times 10^{-4}$ モル/分で供給して AlIn のバッファ層 2 が約 500 $\text{\AA}$  の厚さに形成された。

次に、サファイア基板 1 の温度を 1150℃ に保持し、H<sub>2</sub> を 20 $\ell$ /分、H<sub>2</sub> を 10 $\ell$ /分、TMG を 1.7 $\times 10^{-4}$ モル/分、B<sub>2</sub> で 0.86ppm まで希釈したシリコン (SiH<sub>4</sub>) を 200 $\ell$ /分の割合で 30 分間供給し、厚約 2.2 $\mu$ m、キャリア濃度 1.5 $\times 10^{19}$ /cm<sup>3</sup> の GaIn から成る高キャリア濃度 n<sup>+</sup> 層 3 を形成した。

続いて、サファイア基板 1 の温度を 1150℃ に保持し、H<sub>2</sub> を 20 $\ell$ /分、H<sub>2</sub> を 10 $\ell$ /分、TMG を 1.7 $\times 10^{-4}$ モル/分の割合で 20 分間供給し、厚約 1.5 $\mu$ m、キャリア濃度 1 $\times 10^{19}$ /cm<sup>3</sup> の GaIn から成る低キャリア濃度 n 層 4 を形成した。

次に、サファイア基板 1 を 900℃ にして、H<sub>2</sub> を 20 $\ell$ /分、H<sub>2</sub> を 10 $\ell$ /分、TMG を 1.7 $\times 10^{-4}$ モル/分、CP<sub>2</sub>Mg を 3 $\times 10^{-6}$ モル/分の割合で 3 分間供給して、厚約 0.2 $\mu$ m の GaIn から成る i 層 5 0 を形成した。この状態では、i 層 5 0 は絶縁体

次に、第6図に示すように、i層50上に残っているSiO<sub>2</sub>層11をフッ化水素酸で除去した。

次に、第7図に示すように、i層50の所定領域にのみ、反射電子顕微鏡装置を用いて電子線を照射して、p型半導体のp型部5が形成された。電子線の照射条件は、加速電圧10kV、試料電流1μA、ビームの移動速度0.2mm/sec、ビーム径60μmφ、真空度 $2.1 \times 10^{-7}$ Torrである。この電子線の照射により、i層50の抵抗率は $10^8 \Omega \cdot \text{cm}$ 以上の絶縁体から抵抗率 $35 \Omega \cdot \text{cm}$ のp型半導体となった。

この時、p型部5以外の部分、即ち、電子線の照射されなかった部分は、絶縁体のi層50のままである。従って、p型部5は、縦方向に対しては、低キャリア濃度n層4とpn接合を形成するが、横方向には、p型部5は、周囲に対して、i層50により電気的に絶縁分離される。

次に、第8図に示すように、p型部5とi層50の上面と孔15を避けて高キャリア濃度n<sup>+</sup>層3とに、Al層20が蒸着により形成された。そして、そのAl層20の上にフォトリソist 21を塗

布して、フォトリソグラフにより、そのフォトリソist 21が高キャリア濃度n<sup>+</sup>層3及びp型部5に対する電極部が露出するように、所定形状にパターン形成した。

次に、そのフォトリソist 21をマスクとして下層のAl層20の露出部を硝酸系エッチング液でエッチングし、フォトリソist 21をアセトンで除去した。このようにして、第1図に示すように、高キャリア濃度n<sup>+</sup>層3の電極52、p型部5の電極51を形成した。

その後、上述のように形成されたウエハが各素子毎に切断された。

このようにして製造された発光ダイオード10の発光強度を測定したところ10mcdであった。これは、単純にi層とキャリア濃度 $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 、厚さ4μmのn層とを積層した従来の発光ダイオードに比べて、発光強度が10倍に向上した。

さらに、i層を使用したときの駆動電圧(10mA)は10~15Vとばらついたが、p型部を導入することにより7V程度と低くなりばらつきも少なくなっ

た。

又、発光面を観察した所、発光点の数が増加していることも観察された。

尚、比較のために、低キャリア濃度n層4のキャリア濃度を各種変化させた上記試料を製造して、発光強度及び発光スペクトラムを測定した。その結果を、第9図に示す。

キャリア濃度が増加するに連れて、発光強度が減少し、且つ、発光波長が赤色側に変位することが分かる。このことは、ドーピング元素のシリコンがi層50に不純物元素として拡散または混入するためであると思われる。

尚、上記実施例で用いたマグネシウムMgのドーピングガスは、上述のガスの他、メチルシクロペンタジエニルマグネシウムMg(C<sub>5</sub>H<sub>5</sub>)Clを用いても良い。

又、上記実施例では、n層を高キャリア濃度n<sup>+</sup>層3と低キャリア濃度n層4の二重層構造としたが、単層のn層で構成しても良い。

二重層構造にすると、単層n層の場合に比べて

発光強度が向上した。

又、二重層構造の場合には、上記低キャリア濃度n層4のキャリア濃度は $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ で膜厚は0.5~2μmが望ましい。キャリア濃度が $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 以上となると発光強度が低下するので望ましくなく、 $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 以下となると発光素子の直列抵抗が高くなりすぎ電流を流すと発熱するので望ましくない。又、膜厚が2μm以上となると発光素子の直列抵抗が高くなりすぎ電流を流すと発熱するので望ましくなく、膜厚が0.5μm以下となると発光強度が低下するので望ましくない。

更に、高キャリア濃度n<sup>+</sup>層3のキャリア濃度は $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ で膜厚は2~10μmが望ましい。キャリア濃度が $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 以上となると結晶性が悪化するので望ましくなく、 $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 以下となると発光素子の直列抵抗が高くなりすぎ電流を流すと発熱するので望ましくない。又、膜厚が10μm以上となると基板が湾曲するので望ましくなく、膜厚が2μm以下となると発光素子の直

列抵抗が高くなりすぎ電流を流すと発熱するので望ましくない。

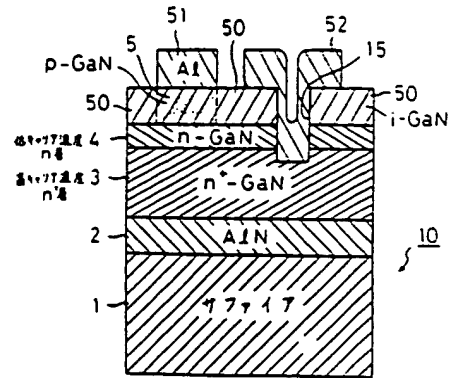
#### 4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明の具体的な一実施例に係る発光ダイオードの構成を示した構成図、第2図乃至第8図は同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図、第9図は低キャリア濃度n層のキャリア濃度と発光強度及び発光波長との関係を示した測定図である。

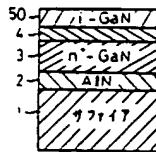
- 10 ……発光ダイオード 1 ……サファイア基板  
2 ……バッファ層 3 ……高キャリア濃度n<sup>+</sup>層  
4 ……低キャリア濃度n層 5 ……p型部  
50 ……i層 51, 52 ……電極  
15 ……孔

特許出願人 豊田合成株式会社  
特許出願人 名古屋大学長  
特許出願人 新技術事業団  
代理人 弁理士 藤谷 修

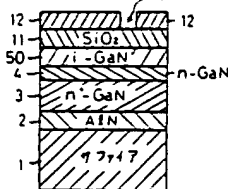
第1図



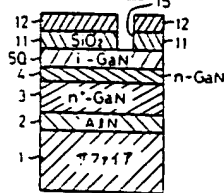
第2図



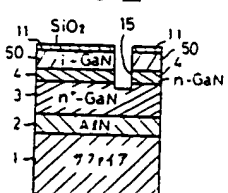
第3図



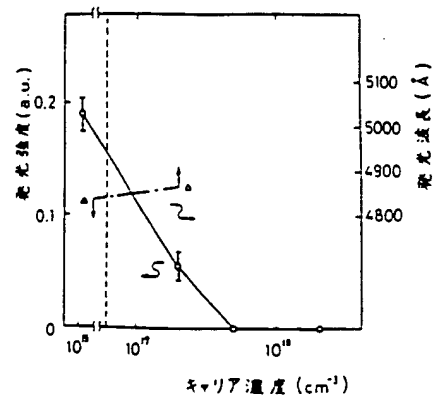
第4図



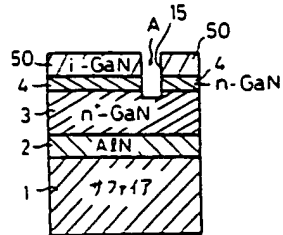
第5図



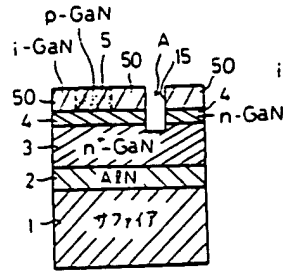
第9図



第 6 図



第 7 図



第 8 図

